REVISTA
CIENCIAS NATURALES
Facultad de Ciencias Naturales · Universidad Nacional de Salta

Vol. 1 (1): 59-70 (2023)

Francisco J. San Román y sus observaciones geológicas en la Puna Argentina (siglo XIX), especialmente en los boratos

Francisco J. San Román and his geological observations in the Argentine Puna (19th century), especially in borates

Ricardo N. Alonso[1], Teresita del V. Ruiz[1], Gonzalo M. de la Hoz[2] & Verónica R. Martínez[1]

Resumen

Luego de la Guerra del Pacífico de 1879, Chile anexó territorios de Perú y Bolivia y ocupó el actual territorio de la Puna Argentina. Entre 1884 y 1887 el gobierno de Chile envió numerosas misiones científicas con el objetivo de estudiar la geología y recursos del nuevo territorio, que recibía el nombre generalizado de Puna de Atacama, entre ellas las de Francisco J. San Román, Lorenzo Sundt y Alejandro Bertrand. San Román recorre la Puna en dos oportunidades y realiza valiosas observaciones que vuelca en libros y un mapa a escala 1:1.000.000 que publica en 1892. La lectura cuidadosa de ese material, que completará el geólogo noruego Lorenzo Sundt luego de la muerte inesperada de San Román, contiene datos valiosos para la geología regional. Se encuentran allí, entre muchas otras, las primeras menciones de granitoides de la Faja Eruptiva de la Puna, las rocas metamórficas del complejo Antofalla (cratón Arequipa-Antofalla), los géiseres gigantes de Botijuelas y los boratos de las terrazas pleistocenas del salar de Pastos Grandes. Describe un perfil estratigráfico de lo que hoy se conoce como Formación Blanca Lila. Se detiene en la presentación de los boratos y sus texturas, especialmente ulexita y menciona la presencia de un "borato petrificado". Ese borato resultó ser inyoíta, la que 30 años después sería descripta en California por Waldemar Schaller (1916). En este trabajo se analizan algunas de los principales aportes de San Román a la luz de las investigaciones actuales.

Palabras clave: Puna, boratos, inyoíta, Formación Blanca Lila, salar de Pastos Grandes

Abstract

After the War of the Pacific in 1879, Chile annexed territories of Peru and Bolivia and occupied the current territory of the Argentine Puna. Between 1884 and 1887 the Chilean government sent numerous scientific missions to study the geology and resources of the new territory, which received the generalized name of Puna de Atacama, among them Francisco J. San Román, Lorenzo Sundt and Alejandro Bertrand. San Román traveled to the Puna on two occasions and made valuable observations that he recorded in books and a 1:1,000,000 scale map that he published in 1892. The careful reading of this material, which was completed by the Norwegian geologist Lorenzo Sundt after San Román's unexpected death, contains valuable data for regional geology. It contains, among many others, the first mentions of granitoids of the "Faja Eruptiva de la Puna" (Puna Eruptive Belt), the metamorphic rocks of the Antofalla complex (Arequipa-Antofalla craton), the giant geysers of Botijuelas, and the borates of the Pleistocene terraces of the Pastos Grandes salt flat. It describes a stratigraphic profile of what today is known as Blanca Lila Formation. He stops in the presentation of the borates and their textures, especially ulexite and mentions the presence of a "petrified borate". This borate turned out to be inyoite, which 30 years later would be described in California by Waldemar Schaller (1916). In this paper some of San Roman's main contributions are analyzed in the light of current research.

Keywords: Puna, borates, inyoite, Blanca Lila Formation, Pastos Grandes salar

1. Instituto Centro de Estudios Geológicos Andinos (CEGA-INSUGEO-CONICET), Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Consejo de Investigación, Av. Bolivia 5150 (A4408FVL), Salta, Argentina. rnalonso@gmail.com
2. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Consejo de Investigación, Av. Bolivia 5150 (A4408FVL), Salta, Argentina.

Recibido: 2/2/23 Aceptado: 15/3/23 Publicado: 17/3/23

INTRODUCCIÓN

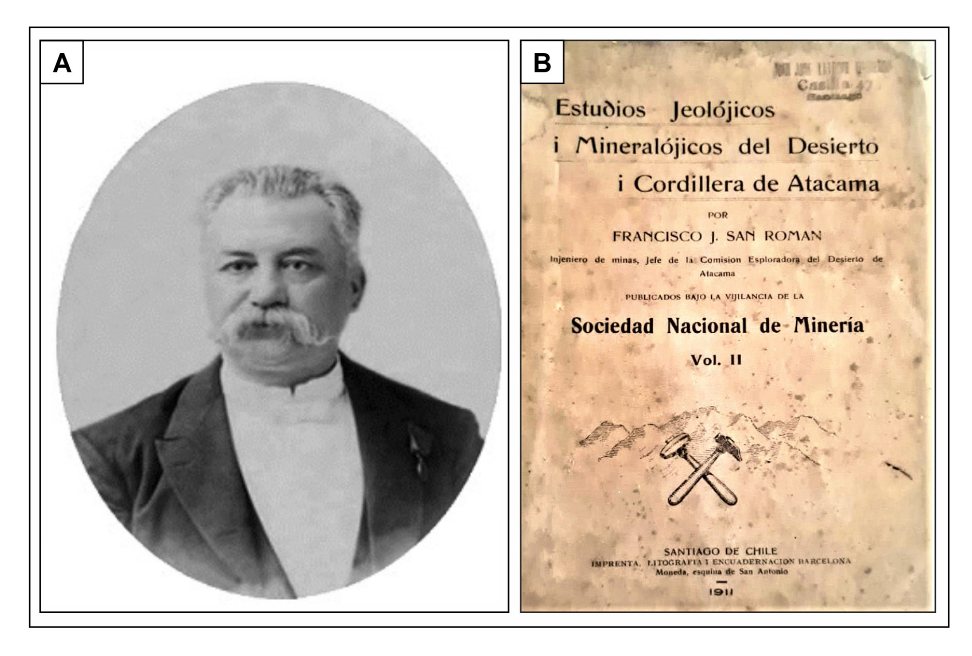
Una figura de gran relieve científico en la segunda mitad del siglo XIX fue la del ingeniero chileno Francisco J. San Román (1838-1902) (Fig. 1A). A él le debemos un valioso mapa de la Puna Argentina, entonces Puna de Atacama, publicado luego de la Guerra del Pacífico como producto de sus largos viajes a los territorios anexados por Chile a Bolivia y Perú. Tal como otras de sus publicaciones que son hoy una fuente imprescindible de consulta sobre la geología, geografía, minería y variados aspectos históricos de la región.

Al finalizar la Guerra del Pacífico el gobierno de Chile lo convocó para una exploración de los nuevos territorios anexados a Bolivia y Perú. El presidente de Chile, Domingo Santa María González (1825-1889), nombró a San Román en abril de 1883 como Jefe de la Comisión Exploradora del Desierto de Atacama. Integraron dicha comisión los ingenieros Alejandro Chadwick, Santiago Muñoz y Abelardo Pizarro, el marino Ángel Lynch y el geólogo noruego Lorenzo Sundt.

Lorenzo Sundt tendrá un rol fundamental luego de la muerte de San Román al hacerse cargo de publicar sus libretas de campo en un voluminoso libro: San Román F. J. (1911). "Estudios Jeolójicos i Mineralójicos del Desierto y Cordillera de Atacama". Sociedad Nacional de Minería, Volumen II, 405 p. Santiago de Chile (Fig. 1B). Sundt escribió y le agregó algunos capítulos extras y anexos de gran valor sobre la minería del norte de Chile.

En el prólogo Sundt comenta que se publican las libretas de campo del malogrado ingeniero San Román, "literalmente y con sus propias palabras, simples apuntes hechos durante la marcha, a veces sobre el lomo de la mula, otras veces en el campamento". Las libretas abarcan desde 1883 a 1899 y en especial resultan de nuestro interés las anotaciones realizadas en el actual territorio de la Puna Argentina, ocupado entonces por Chile. Téngase presente que se trata de campañas de muchos meses de duración, a lomo de animales, en un territorio casi virgen de observaciones científicas. Es más, en muchos casos esas son las primeras observaciones científicas del actual territorio de la Puna Argentina.

La lectura cuidadosa del largo texto permite encontrar datos muy valiosos para la historia geológica y geográfica del territorio estudiado. Los viajes a la actual Puna Argentina los hace



Estudios Jeolójicos
i Mineralójicos del Desierto
i Cordillera de Atacama
POR
FRANCISCO J. SAN ROMAN
Injeniero de minas, Jefe de la Comision Esploradora del Desierto de Atacama
PUBLICADOS BAJO LA VIJILANCIA DE LA
Sociedad Nacional de Minería
Vol. II
SANTIAGO DE CHILE
IMPRENTA, LITOGRAFIA I ENCUADERNACION BARCELONA
Moneda, esquina de San Antonio
1911

Figura 1. A. Retrato de Francisco J. San Román. **B.** Portada del documento "Estudios Jeolójicos i Mineralójicos del Desierto y Cordillera de Atacama" publicado en 1911.

entre marzo y junio de 1886 y marzo a junio de 1887 (Alonso, 2022a).

Datos biográficos

San Román nació en Copiapó (Chile). Sus padres, don Francisco San Román Navarro y doña Presentación San Román eran argentinos y como tantos otros fueron perseguidos políticos de las refriegas entre federales y unitarios que se refugiaban en Chile donde eran acogidos fraternalmente.

Cerca de Copiapó están las famosas minas de Chañarcillo, ricos yacimientos argentíferos, donde trabajó como mayordomo Domingo F. Sarmiento. Sarmiento y San Román harían una buena amistad, al punto que fue Sarmiento como presidente de la República Argentina quien lo propuso en 1874 para formar parte como miembro de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. Fue de Chañarcillo donde Sarmiento colectó un hermoso cristal de proustita, sulfoarseniuro de plata o rosicler y lo donó a la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. Estaba expuesto en el museo “Alfred Stelzner” de donde fue robado en 2019.

El padre de San Román, antes de emigrar a Chile, fue gobernador de la provincia de San Juan y más tarde cónsul argentino en Copiapó. El joven San Román estudió ingeniería de minas en los colegios que creara el sabio polaco Ignacio Domeyko, gran figura de la ciencia geológica y mineralógica chilena, a quien le fue dedicada en su nombre y honor una cordillera: la Cordillera de Domeyko. San Román fue un alumno aventajado y se graduó de ingeniero de minas con una amplia formación en geología, mineralogía, geografía y cartografía. Al parecer pasó algunos años cateando el desierto en busca de ricas vetas de metales preciosos, pero sin suerte.

En la década de 1860 decidió radicarse en Argentina, aunque poco se sabe de esta etapa de su vida. Habría permanecido primero en Buenos Aires. Luego pasó a Catamarca en donde fue profesor en la Escuela de Minas. Obtuvo entonces la concesión del estudio del ferrocarril trasandino por San Francisco entre Copiapó y Tinogasta. En la Exposición Nacional de Córdoba de 1871, presentó un trabajo relativo a “Datos sobre la minería en La Rioja y Catamarca”. En 1873 elevó un memorando al Senado de la Nación, con el estudio de las posibilidades económicas de la línea férrea. Ello dio motivos para analizar las riquezas de las provincias de Catamarca, La Rioja y Salta, que proveerían mercaderías y productos al tráfico comercial.

Últimos años

A partir de 1887 se abocó a la cartografía del desierto. En agosto de 1891 fue designado por el presidente de Chile para participar del V Congreso Internacional de Geología en Washington (USA). Fue uno de los tres representantes de América Latina, junto a los delegados de Perú y México. Ese mismo año participó del Congreso Internacional de Geografía en Berna (Suiza) donde se planteó el proyecto del mapa del mundo al millonésimo.

En 1892 publicó la “Carta Geográfica del Desierto y Cordilleras de Atacama”, en colores y a escala 1:1.000.000, con un impresionante detalle de salares, volcanes, serranías, lagunas, ríos, aguadas, caminos troperos, caminos del Inca, minas de oro, plata, cobre y manganeso; sumado a cinco perfiles topográficos entre el océano Pacífico y las altas montañas de oriente colindantes con Argentina y Bolivia; además de dos planos de las ciudades de Antofagasta y Copiapó. El mapa es una preciosa obra de cartografía y conserva topónimos que han desaparecido o han cambiado con el tiempo. Fue el primer mapa integral sobre el desierto de Atacama y la actual Puna Argentina (Alonso, 2022b).

Viaje a la Puna en 1886

En 1886 ingresa por el paso de Huaytiquina, pasa por el caserío de Catua y sigue hasta el salar de Cauchari donde visita la boratera Siberia. Comenta que se encuentran trabajando allí mineros salteños, entre ellos los señores Korn, Boden, Roco, Lozano y Fressart. Al respecto señala: “Borateras Siberia y Antuco.

Descubríoslas el capitán de Atacama Rafael Torreblanca, en 1876. Fue pedida por Korn y Roco; y este último socio, Ángel C. Roco, mandó como primer ensayo una tonelada de borato a Hamburgo a consignación de Müller y Gabe, dando 46% de B_2O_3 y una utilidad líquida de 3 bolivianos por quintal esp. Un año después fue pedido Antuco y en febrero del presente año por Roco en Antofagasta (p. 128)".

Continúa el viaje cruzando el salar de Cauchari hasta Pastos Chicos, el volcán Tuzgle, Abra de Chorrillos y baja para visitar las minas de plata del distrito San Antonio de los Cobres. En esta etapa, al pasar por Pastos Chicos, realiza de soslayo la que será la primera descripción de la llamada "Faja Eruptiva de la Puna Oriental" (p. 128).

Dice San Román: *"Entramos en la dicha quebrada del cordón granítico citado. El granito, primera vez que lo encuentro, es el* cuyano *de grandes elementos, con los cristales de felspato (sic) como de 5 cms de largo y mucha mica".* Precisamente la Faja Eruptiva de la Puna, que allí aflora ampliamente, se caracteriza por grandes cristales de microclino (feldespato), cuarzos azules y mica.

Viaje a la Puna en 1887

San Román regresa en 1887, pero hace su entrada por el sur de la Puna catamarqueña y recorre El Peñón, Antofagasta de la Sierra, los géiseres de Botijuelas, las rocas metamórficas de Antofalla, las minas de plata de Antofalla, la mina de oro de Incahuasi, el salar del Hombre Muerto; y luego viaja hacia el norte por Los Colorados, atraviesa el salar del Pozuelos y llega al salar de Pastos Grandes donde se encontraban en explotación las borateras de Blanca Lila. Es allí donde realiza importantes observaciones sobre los boratos que son el motivo de este trabajo.

Regresa por Quirón hacia el salar de Pocitos, menciona los cerros de Macón y los volcanes de Pocitos, Tul Tul y Rincón. Luego se dirige a las sierras occidentales de Cauchari para estudiar detenidamente la mina de oro "Carmen". Desde allí baja a la boratera Siberia. Justo entonces se encontraba en el lugar una comisión salteña al mando de Abraham A. Becerra quien en su informe sobre borateras de 1887 habla de la "rectitud y honradez reconocida" del Ing. San Román. El 24 de mayo de 1887 se realiza la mensura y el acta correspondiente sobre la mina Siberia, que había sido concedida en 1884 por el gobierno de Salta y cuyos papeles se habían perdido en Chile. Firman el acta el Ing. Francisco San Román y como testigos Abraham Becerra, Ramón López y Emilio Fressart, este último como administrador y representante de "Boden y Cía. Boratera" (Alonso, 2002). Luego continúa al norte por Las Pailas, Archibarca, los lavaderos de oro de Olaroz, los géiseres del río Rosario, Pairique y cruza hacia Atacama por el cerro Zapaleri.

Al llegar al occidente del salar de Antofalla se encuentra con varias cuestiones de interés geológico. Aparece allí la primera descripción conocida de las rocas metamórficas de Antofalla que luego darían el nombre al cratón de Arequipa-Antofalla (Ramos, 2008). Dice San Román que cruzaron el salar de Antofalla y llegaron a las "Vegas de Botijuelas" y que a 1 km de allí se encuentra la Casa de Salvatierra. Le llama la atención el rumbo de las serranías, transversales con respecto a la tectónica general andina y lo describe como un cordón transversal de rumbo 30 grados en dirección NW-SE. Y señala: "*Lo notable en su composición: ejemplo aislado aquí de formación esquistosa de rocas micáceas perfectamente cristalinas y de gneisa (sic, gneises) tipo, con sus acompañantes de granito rojo, pegmatitas rosadas, protojina i cuarcitas*". Vocablos como "protojina" han desaparecido de los diccionarios y se desconoce su significado. El conjunto metamórfico con inyecciones ígneas forma parte del basamento cristalino viejo de la Puna.

Luego San Román hace la primera descripción conocida de los "Géiseres de Botijuelas". El nombre deriva de los botijos españoles y su analogía en las formas y les fueron dados por los jesuitas que explotaron una mina de

plata cercana. Dice San Román: "*El nombre de Botijuelas deriva de algunos geisers como los de Hoyada (hornitos) por cuanto las aguas salen calientes y forman conos de sedimentos, pero no arrojan columnas de vapor. El más notable por sus dimensiones, que tiene 20 ms de altura sobre su base, está seco i conserva abierto el orificio de 2 ms de diámetro en la boca y como 0,50 ms en su fondo a los 15 ms de hondura, pero siendo vertical esta bajada no había lugar a observar más. El grueso total de sedimentos silíceo ferruginosos tiene como 50 ms de espesor"*. Los géiseres de Botijuelas están, en tamaño, entre los más espectaculares de la Puna Argentina, solo comparables con los géiseres boratíferos de Coranzulí (Alonso, 2022a). Los de Botijuelas no tienen boratos, pero muestran una base silícea ferruginosa que prueba una alta temperatura en el origen.

Salar de Pozuelos, cerros esquistosos y los Colorados

En las páginas 150-151, San Román describe el viaje llegando al salar de Pozuelos y la presencia de cordones de rocas esquistosas y capas rojas. También menciona la "discordancia de esquistos y arcillas". Las rocas esquistosas corresponden en realidad a turbiditas marinas de edad ordovícica (Fm. Copalayo, Turner, 1964). Efectivamente en discordancia se encuentran las capas rojas de la Formación Geste (Eoceno, Turner, 1964) y las de la Formación Vizcacheras (Alonso, 1998a). Destaca que las capas de arcillas coloradas "mantean" (inclinan) hacia el este.

En el salar de Pozuelos, San Román se hace una pregunta de plena actualidad. Dice textualmente: *"Otra observación. ¿Hay diferencia entre la composición química de estos salares, según que los cerros que los rodean sean de traquitas, o lavas o de otras rocas? Llevo muestras de este salar en que no hay nada de volcánico a su alrededor"* (p.151). San Román ya conocía los salares chilenos y también algunos salares argentinos como Cauchari, Antofalla y Hombre Muerto. La geoquímica de los salares de la Puna está influenciada por las rocas de su entorno y por su historia geológica (Alonso, 2017). Aclara que sacó muestras para estudiar el tema, y así se convierte en el primer muestreo realizado a un salar con un fin específico.

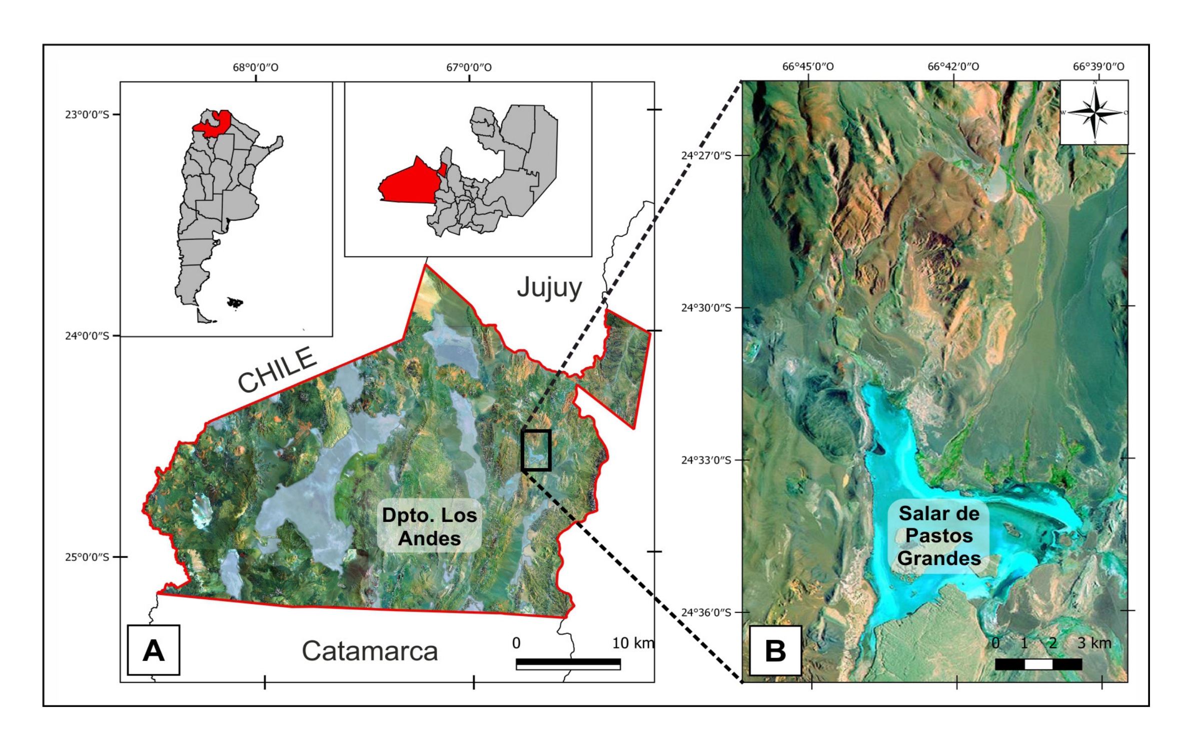


Figura 2. A. Ubicación geográfica del salar de Pastos Grandes en el departamento Los Andes indicado en el recuadro. **B.** Detalle de la morfología del salar de Pastos Grandes.

Formación borácica de Pastos Grandes

Las observaciones efectuadas en la región del salar de Pastos Grandes (Figs. 2A-B) se encuentran en las páginas 151 y 152, donde San Román realiza descripciones estratigráficas y mineras muy detalladas en lo que hoy se conoce como Formación Blanca Lila (Alonso,1986; Alonso & Menegatti, 1990; Martínez *et al*., 2021). Dice San Román: *"Contra lo acostumbrado, no está en la laguna sino en las expresadas alturas de las barrancas de arcillas coloradas (no en la formación con yeso sino la de estratificación horizontal, moderna, forma primitiva del lago)"* (p. 151). O sea que el borato no está en "la laguna" (se refiere al piso moderno del salar), sino en las barrancas con estratificación horizontal y que contienen la forma primitiva del lago. La Formación Blanca Lila efectivamente son los remanentes de un antiguo lago pleistoceno de unos 300 mil años de antigüedad y en sus bordes contiene depósitos de boratos. Al decir "no la formación con yeso", que yace inclinada, sino en la horizontal, está diferenciando claramente las formaciones miocenas (Fm. Pozuelos, Fm. Sijes), de la pleistocena (Fm. Blanca Lila) y también del actual salar. Esto llevó a una fuerte confusión al Dr. Juan Carlos Turner, quien al hacer el relevamiento de la Hoja Geológica 7c Nevado de Cachi (1964) interpretó equivocadamente que San Román había descripto los boratos de la Formación Sijes (Mioceno).

San Román hace luego una prolija descripción estratigráfica de las barrancas de la Fm. Blanca Lila (Fig. 3) y menciona: "*Cubre la superficie una costra pura de concreciones calcáreas o silíceo-arcillosas, cuyo espesor varía según las ondulaciones, desapareciendo en los bajos*". Esta capa es un travertino lacustre que cubre la formación. Hemos descubierto huellas de aves en ellos (Alonso, 1986).

Luego menciona: "*Le sigue una capa de greda color gris claro, como barro semi-endurecido, que se quiebra en fragmentos regulares, de espesor variable también según el terreno, pero cuando más gruesa, rara vez excede de 1,50 ms.*" Se trata de una capa de arcillas lacustres verdosas. Y sigue: "*Debajo de esta sigue una costra de yeso poroso que no hace más que cubrir, protegiéndolo al manto de borato de cal, que aparece enseguida limpio y seco, solo entremezclado con polvo de arcilla roja sobre que descansa y que constituye, en estratificación terrosa, muchos*



Figura 3. Vista hacia el norte de la barraca donde se encuentra el perfil de la Formación Blanca Lila descripto por San Román. **A.** Nivel de travertinos mencionados como "costra pura de concreciones calcáreas o silíceo-arcillosas". **B.** Nivel de arcilla lacustre verde y yeso poroso/esponjoso con contenido de ulexita sedosa. **C.** Nivel de boratos donde el "borato crespo seco" (ulexita) contiene al "borato petrificado" (inyoíta).

metros de grueso hacia abajo, el fondo de la formación. La capa de borato tiene de grueso por término medio 0,80 ms excediendo en partes 1 metro, en este caso siempre limpio. La especie del borato es el fibroso, crespo y sedoso". Efectivamente entre la arcilla lacustre verde y el borato se extiende un manto de yeso poroso y esponjoso. El "borato fibroso, crespo y sedoso" es simplemente ulexita de la variedad "silky ulexite" (ulexita sedosa).

Luego señala que: "*La gran cosa consiste en que no está húmedo, es decir no está mojado o en contacto sino con la humedad natural y sobre todo en que carece completamente de sal*". Ciertamente el borato ulexita de Blanca Lila se explotó a partir de la década de 1870 por los empresarios mineros Lozano, Rocco y Corbalán y su principal característica era estar seca y no tener cloruros. San Román menciona el tema de explotación y dice: "*Respecto a las condiciones de explotación, las materias con que se mezcla, a saber el yeso, que se separa por sí solo en trozos sólidos, y la arcilla seca de abajo, se separan simplemente a mano con una hoja de hierro pelando la superficie de los fragmentos de boratos, y en cuanto a profundidad, según las ondulaciones como queda dicho, se encuentra a flor de tierra o a lo sumo a 1 o 2 ms de excavación a pico y pala*". El borato que quedaba expuesto por erosión "a pelo de tierra" se le llamaba "borato en bolones".

San Román distingue varios tipos de texturas de los boratos en el perfil de Blanca Lila. Según sus observaciones el manto tiene: "*Al piso un borato en lajas, como sedimento de superficie lustrosa y las fibras horizontales, pero casi compacto; a la cabeza tiene, al contrario, un borato bien fibroso, pero con las fibras verticales: en el centro, en fin, vienen las variedades del crespo y del que llaman petrificado y que dicen tan rico como el crespo, es decir 35 a 40% B_2O_3*". Luego aclara que el "petrificado" es el que se encuentra envuelto en el crespo. En nuestras investigaciones hemos podido comprobar que el "borato petrificado" de San Román es el borato de calcio hidratado inyoíta. Lejos estaba San Román de darse cuenta que había descubierto un nuevo mineral para la ciencia. Inyoíta fue finalmente descripta en la Formación Furnace Creek del Valle de la Muerte en California por Waldemar Schaller en 1916 (Schaller, 1916), o sea 30 años después de que San Román la descubriera en las terrazas pleistocenas de Blanca Lila en el salar de Pastos Grandes.

La presencia de inyoíta en el techo de ulexita, es acorde con la mayoría de yacimientos donde existe una zonación química y mineralógica desde boratos de calcio, calcio/sodio, sodio y calcio para cerrar el ciclotema (Alonso *et al.*, 1988).

Inyoíta en California

La historia de inyoíta en California comienza en la primera década del siglo XX. Hoyt S. Gale (1876-1952), geólogo del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), estaba realizando estudios en las formaciones ricas en boratos en los bordes del Valle de la Muerte, más precisamente en un lugar con nombre en español: Monte Blanco. Encontró allí unos cristales bien desarrollados que le llamaron la atención. Un sencillo análisis a la llama del mechero le confirmó, por el color verde característico del boro, que se trataba de boratos. Como no supo identificar la especie a que pertenecían recurrió a su colega mineralogista del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), el Dr. Waldemar T. Schaller (1882-1967). Schaller realizó un prolijo estudio cristalográfico y químico, determinando que se trataba de dos nuevos minerales para la ciencia a los que dio los nombres de inyoíta y meyerhofferita. El trabajo fue publicado en el boletín del USGS en 1916 (N° 610, pág. 35-55). Inyoíta fue bautizada en honor del condado de Inyo (Inyo County) en California donde se encuentra el Valle de la Muerte. Es interesante señalar que en dicho municipio se encuentra la montaña más alta de los Estados Unidos (Monte Whitney, 4.421 m) y el punto más bajo de la topografía continental de ese país, Bad Water que está a 86 metros por debajo del nivel del mar.

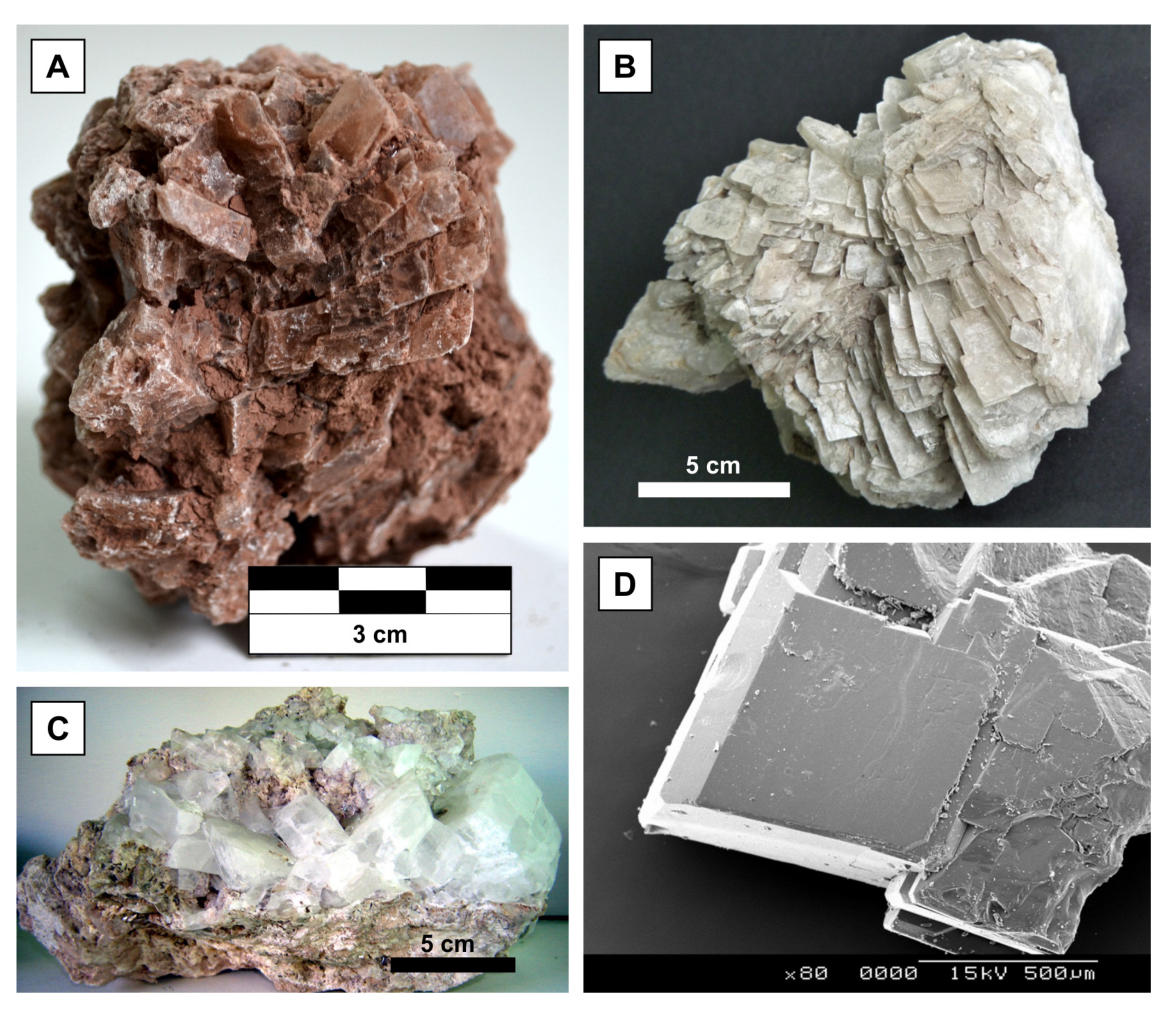


Figura 4. Imágenes de muestras de inyoíta. **A.** Inyoíta en cristales de hábito tabular. Formación Blanca Lila. Salar de Pastos Grandes, departamento Los Andes, Salta, Argentina (Colector Geól. Rocío Martínez). Corresponde al "borato petrificado" de San Román (1911). **B.** Agregado de cristales de inyoíta con hábito tabular. Distrito Sijes, departamento Los Andes, Salta, Argentina (Colección Dr. L. F. Aristarain UNSa). **C.** Cristales de inyoíta, sobre hidroboracita maciza. Salar de Pastos Grandes, departamento Los Andes, Salta Argentina (Colección Dr. L. F. Aristarain UNSa). **D.** Fotomicrografía de cristales de inyoíta de hábito tabular obtenida con microscopio electrónico, proveniente de Lagunas Salinas, Perú (Colector Dr. Ricardo N. Alonso, actualmente en la colección de la cátedra de Mineralogía, UNSa).

Inyoíta en la Puna

Inyoíta fue descripta en la cuenca de Pastos Grandes, en el distrito de Sijes como presente en el techo de la Fm. Pozuelos (Miembro El Zorro) y en los cuatro miembros de la Fm. Sijes (Monte Amarillo, Ona, Monte Verde y Esperanza) (Aristarain & Erd, 1971; Alonso, 1986; Galliski *et al*., 2010; Alonso *et al*., 2016). También en la mina Tincalayu, departamento Los Andes, Salta (Alonso, 1986). En el yacimiento Loma Blanca, departamento de Susques, provincia de Jujuy, forma la base y el techo de las mineralizaciones de ulexita-tincal (Alonso, 1986; Alonso *et al*., 1988, 2016; Alonso, 2022a). En las minas Andina y Elsa, situadas en las terrazas pleistocenas de Blanca Lila que bordean el actual salar de Pastos Grandes (Alonso, 1986; Alonso & Menegatti, 1990; Alonso *et al*., 2016). En el depósito de playa actual Lagunita, situado al este del complejo volcánico Coyahuaima, región de Coranzulí, provincia de Jujuy (Alonso, 1986; Helvaci & Alonso, 1994).

Mineralogía de inyoíta ($Ca[B_3O_3(OH)_5].4H_2O$)

El mineral fue descripto por primera vez de muestras procedentes del distrito Monte Blanco, Furnace Creek, cerca de Death Valley, Inyo County, California, por Waldemar T. Schaller (1916), asociado con meyerhofferita, y colemanita (Palache *et al.*, 1951; Blackburn & Dennen, 1997). Macroscópicamente, la inyoíta de Blanca Lila exhibe brillo vítreo, hábito prismático corto [001] a tabular {001}. Masas granulares, esferulíticas y masivo. Dureza relativa aproximada de 2 a 3. Los cristales idiomorfos, de hábito tabular con forma de rombo son aplanados paralelamente a (001) (Fig. 4B). El mineral es incoloro y transparente a blanco por deshidratación parcial. El clivaje es bueno según {001} y {110} e imperfecto según {010}. Raya blanca. Fractura: irregular. Tenacidad: frágil. Fusibilidad: 1. Inyoíta se disuelve lentamente en agua caliente. Soluble en ácidos diluidos. Al ser calentado a la llama adquiere color blanco, se torna opaco, se hincha y funde fácilmente formando glóbulo blanco (Aristarain & Erd 1971). Algunos ejemplares presentan fluorescencia blanco pálido en onda corta, blanco en onda larga y fosforescencia blanca (Christ *et al.*, 1967).

Por deshidratación forma meyerhofferita (Christ *et al.*, 1967; Schaller, 1916; Inan *et al.*, 1973), colemanita (Christ *et al.*, 1967; Inan *et al.*, 1973). También se altera a nobleíta y gowerita por agua de lluvia saturada en CO_2 (Christ *et al.*, 1967). Inyoíta suele ser reemplazada por ulexita lo que indica su inestabilidad en presencia del ion sodio (Aristarain & Erd, 1971; Aristarain, & Hurlbut, 1968).

En la Tabla 1 se presentan los parámetros ópticos de inyoíta obtenidos mediante técnicas de microscopía de polarización en grano suelto con líquidos de inmersión normalizados. Bajo el microscopio, a nicoles paralelos, los cristales son idiomorfos y de hábito tabular.

	Inyo County California[1]	Laguna Salinas Perú[2]	Monte Azul Salta[3]	Loma Blanca Jujuy[4]
α	1,495	1,492 (3)	1,490	1,493 (3)
β	1,510	1,505 (3)	1,505	1,505 (3)
γ	1,520	1,517 (3)	1,518	1,518 (3)
Birrefringencia	0,025	0,025	0,028	0,025
Carácter óptico	biáxico	biáxico	biáxico	biáxico
Signo óptico	negativo	negativo	negativo	negativo
Orientación				
X Λ c	oblicuo a (001)		37º	37º
Z Λ c				
Y	b		b	b
2V		70º-80º	86º	80º
Dispersión			r < v débil	r < v débil

Tabla 1: Propiedades ópticas de diferentes muestras de inyoíta. (1) Schaller (1916), (2) Muessig (1958), (3) Aristarain & Erd (1971), (4) Ruiz (1989)

A nicoles cruzados, el mineral muestra colores de interferencia de segundo orden y carácter óptico biáxico, con signo óptico negativo.

Líneas de difracción de rayos X

Los valores de los espaciados reticulares de inyoíta son los siguientes: 7.67 (100), 2.526 (25), 3.368 (22), 1.968 (22), 2.547 (21), 3.450 (20), 2.799 (19), 2.780 (19), 7.57 (18), 3.839 (18), 2.376 (18), (ICDD 37-1459) (ICDD 1993).

Datos de absorción de infrarrojo

Los valores de absorción infrarrojo determinados para la inyoíta de Loma Blanca, Puna jujeña son: 3520, 3440, 3330, 3240, 3155, 3110, 1650, 1470, 1420, 1382, 1340, 1212, 1170, 1110, 1060, 1002, 955, 890, 870, 800, 700, 545, 485, 465 (Ruiz, 1989). En la Tabla 2 se presentan los análisis químicos de inyoíta de Inyo County-California, Monte Azul-Salta y Loma Blanca-Jujuy.

Localidades mundiales

Inyoíta se presenta en el depósito boratífero de la región de Inder, oeste de Kazahkstan (Anthony *et al*., 2003; Garret, 1998). En dos perforaciones, realizadas en la depresión Bakhmuta, en la cuenca Donets, Ucrania (Zaritskiy, 1965). Se menciona inyoíta como especie minoritaria en los lagos boratíferos de Xizang, Tibet, China (Garret, 1998). Como especie minoritaria en la cuenca de Karlovassi al oeste de la isla Samos, Grecia (Stamatakis & Economou, 1991). En Estados Unidos, en California, en la mina Monte Blanco, distrito Furnace Creek, Death Valley, Inyo County y en el depósito boratífero de Kramer, Boron, Kern County (Anthony *et al.*, 2003; Morgan & Erd, 1969). En Hillsborough (Walker, 1921), New Brunswick y Wentworth (Goodman, 1957), Nova Scotia, Canadá. En Kirka, provincia de Eskiçehir (Innan *et al*., 1973; Helvaci & Ortí, 2004) y en la mina Büyük Günevi, en el distrito Bigadiç, provincia de Balikesir, Turquía (Helvaci, 1995; Helvaci & Alonso, 2000). Inyoíta primaria se presenta en

	Inyo County California(1)	Monte Azul Salta(2)	Loma Blanca Jujuy(3)	Composición teórica
B_2O_3	37,20 %	37,92 %	37,40 %	37,62 %
CaO	20,50 %	20,42 %	20,17 %	20,20 %
MgO			0,05 %	
Na_2O			0,55 %	
H_2O + 110º	16,20 %	41,86 %	41,85 %	42,18 %
H_2O – 110º	26,10 %			
Total	100,00 %	100,20 %	100,02 %	100,00 %

Tabla 2: Composición química de diferentes muestras de inyoíta. (1) Schaller (1916), (2) Aristarain & Erd (1971), (3) Ruiz (1989)

un depósito de playa actual en Laguna Salinas (Fig. 4D), departamento de Arequipa, Perú (Muessig, 1958; Alonso, 1996; Ruiz *et al.*, 2000). En los yacimientos de nitratos del norte de Chile (Vila, 1974).

Localidades en Argentina

Se presenta en el yacimiento Loma Blanca, departamento de Susques, provincia de Jujuy (Alonso *et al.*, 1988; Alonso, 1986; Alonso, 1998b). En la cuenca de Pastos Grandes (Figs. 4A-C), en el distrito de Sijes (Fig. 4B) (Aristarain & Erd, 1971; Alonso, 1998b; Alonso & Menegatti, 1990; Galliski *et al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2021) y en la mina Tincalayu, departamento Los Andes, Salta (Alonso, 1998b; Galliski *et al.*, 2010).

En las minas Andina y Elsa, situadas en las terrazas pleistocenas que bordean el actual salar de Pastos Grandes (Alonso, 1998b; Galliski *et al.*, 2010; Helvaci & Alonso, 1994). En el depósito de playa actual Lagunita, situado al este del complejo volcánico Coyahuaima, región de Coranzulí, provincia de Jujuy (Alonso, 1998b; Galliski *et al.*, 2010; Fourestier 1999).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realiza en el marco de las investigaciones de los autores en el Proyecto CIUNSa N° 2703. Agradecemos a los evaluadores por sus comentarios que mejoraron la edición del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso R. N. 1986. Ocurrencia, posición estratigráfica y génesis de los depósitos de boratos de la Puna Argentina. *Universidad Nacional de Salta* (tesis doctoral, inédita).

Alonso R. N. 1996. El yacimiento boratífero de Laguna Salinas, Perú. *XIII Congreso Geológico Argentino*. Acta III: 297-308. Bs. As.

Alonso R. N. 1998a. *Rocas sedimentarias (Cenozoico - Puna). Hoja Geológica 2566-I. Cachi*. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). Buenos Aires.

Alonso R. N. 1998b. *Los boratos de la Puna*. Cámara de Minería de Salta, Salta.

Alonso R. N. 2002. La expedición minera de Abraham Becerra (1887) a las minas y borateras de la Puna Salto-Jujeña. En: Brodtkorb M. K., Koukharsky M. & P. R. Leal (Eds). Mineralogía y Metalogenia, pp. 17-22. UBA, Buenos Aires.

Alonso R. N. 2017. Los salares de la Puna argentina y su recurso minero. En: Muruaga, C.M. & P. Grosse (Eds.), *Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA*. Relatorio del XX Congreso Geológico Argentino, pp. 1018-1038. San Miguel de Tucumán.

Alonso R. N. 2022a. *Los boratos de la Puna Argentina*. Mundo Gráfico Salta Editorial.

Alonso R. N. 2022b. *Historias de la Puna: Historia natural y humana de un territorio andino*. Mundo Gráfico Salta Editorial. Salta.

Alonso R. N. Helvaci C., Sureda R. J. & J. Viramonte. 1988. A new tertiary borax deposit in the Andes. *Miner. Deposita.* 23(4): 299-305. https://doi.org/10.1007/bf00206411

Alonso R. N. & N. Menegatti. 1990. La Formación Blanca Lila (Pleistoceno) y sus depósitos de boratos (Puna Argentina). *XI Congreso Geológico Argentino,* 1: 295-298. San Juan.

Alonso R. N., Ruiz T. del V. & A. G. Quiroga. 2016. *Mineralogía de los boratos de la República Argentina*. Mundo Gráfico Salta Editorial. Salta (Segunda edición).

Anthony J. W., Bideaux R. A., Bladh, K. W. & M. C. Nichol. 2003. *Handbook of Mineralogy. Volume V. Borates, Carbonates, Sulfates*. Mineral Data Publishing. Tucson. https://doi.org/10.2113/gscanmin.41.5.1296

Aristarain L. F. & R. C. Erd. 1971. Inyoíta, 2 CaO. 3 B_2O_3. 13 H_2O, de la Puna argentina. *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, Tomo CXCI: 191-211. La Plata.

Aristarain L. F. & Jr. C. S. Hurlbut. 1968. Teruggite, 4CaO. MgO. $6B_2O_3$. As_2O_5. $18H_2O$, a new mineral from Jujuy, Argentina. *Am. Mineral.* 53(11-12): 1815-1827.

Blackburn W. H. & W. H. Dennen (Eds). 1997. *Encyclopedia of Mineral Names*. Mineralogical Association of Canada (special publication). https://doi.org/10.1180/minmag.1998.062.3.02

Christ C. L., Truesdell A. H. & R. C. Erd. 1967. Borate mineral assemblages in the system Na_2O-CaO-MgO-B_2O_3-H_2O. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 31: 313-337.

Fourestier J. de. 1999. *Glossary of Mineral Synonyms. The Canadian Mineralo-*

gist (special publication). https://doi.org/10.1180/002646100549616

Galliski M. A., Cooper M. A., Márquez Zavalía M. F. & F. C. Hawthorne. 2010. Alfredstelznerite: a new species of calcium borate hydrate from the Santa Rosa mine, Salta, northwestern Argentina. *Can. Mineral.* 48: 123-128. https://doi.org/10.3749/canmin.48.1.123

Garret D. E. 1998. *Borates. Handbook of Deposits, Processing, Properties and Use*. Academic Press. https://doi.org/10.5860/choice.36-2772

Goodman N. R. 1957. En: Roulston, B.V. & D.C.E Waugh, 1981. *A borate mineral assemblage from the Penobsquis and Salt Springs evaporite deposits of southern New Brunswick. Can. Mineral.* 19: 291-301.

Helvaci C. 1995. Stratigraphy, Mineralogy, and Genesis of the Bigadiç Borate Deposits, Western Turkey. *Econ. Geol.* 90 (5): 1237-1260. Lancaster. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.90.5.1237

Helvaci C. & R. N. Alonso. 1994. An occurrence of primary inyoite at Lagunita playa, Northern Argentina. *Proceedings of the 29th International Geological Congress (Kyoto)*, Part A: 299-308.

Helvaci C. & R. N. Alonso. 2000. Borate deposits of Turkey and Argentina, a summary and geological comparison. *Turk. J. Earth Sci*. 24: 1-27.

Helvaci C. & F. Ortí. 2004. Zoning in the Kirka borate deposit, western Turkey: primary evaporitic fractionation or diagenetic modifications?. *Can. Mineral.* 42 (4): 1179-1204. https://doi.org/10.2113/gscanmin.42.4.1179

ICDD (International Centre for diffraction Data). 1993. *Mineral Powder Diffraction File Databook*. International Centre for Diffraction Data. Pennsylvania.

Inan K., Dunhan A. & J. Esson. 1973. Mineralogy, chemistry and origin of Kirka a borate deposit, Eskishehir Province, Turkey. *Trans. Inst. Min. Metall.* Sect B: 114-132.

Martínez V. R., Alonso R. N., Ruiz T. & G. M. De la Hoz. 2021. Caracterización mineralógica de la inyoíta Pleistocena en la formación Blanca Lila (salar de Pastos Grandes, Salta). *XXI Congreso Geológico Argentino,* pp. 805-806. Puerto Madryn.

Morgan V. & R. C. Erd. 1969. Minerals of the Kramer Borate District, California. *California Division of Mines and Geology*, *Mineral Information Service.* 22 (9): 143-153; 22 (10): 165-172.

Muessig S. 1958. First known occurrence of inyoite in a playa, at Laguna Salinas, Perú. *Am. Mineral.* 43(11-12): 1144-1147.

Muessig S. 1959. Primary borates in playa deposits: Minerals high hydratation. *Econ. Geol.* 54: 495-501. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.54.3.495

Palache Ch., Berman H. & C. Frondel. 1951. *Dana´s System of Mineralogy*. 7th edition. Vol. II: 339-341. https://doi.org/10.1126/science.115.2990.442

Ramos V. A. 2008. The Basement of the Central Andes: The Arequipa and Related Terranes. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 36: 289–324. https://doi.org/10.1146/annurev.earth.36.031207.124304

Rogers A. F. 1919. Colemanite pseudomorphous after inyoite from Death Valley, California. *Am. Mineral.* 4(11): 135-139.

Ruiz T. del V. 1989. *Estudio mineralógico de bórax (mina La Inundada), inyoíta (mina Loma Blanca) y pinnoíta (quebrada de Socacastro), de las provincias de Jujuy y Salta, República Argentina.* Universidad Nacional de Salta (tesis profesional, inédita).

Ruiz T. del V., R. N. Alonso & A. G. Quiroga. 2000. Inyoíta –$Ca[B_3O_3|(OH)_5].4H_2O$- de Lagunas Salinas, Perú. *Congreso de Mineralogía y Metalogenia*, pp: 457-464.

Schaller W. T. 1916. Inyoite and meyerhofferite, two new calcium borates, *USGS Bull.*, 610: 35-55.

San Román F. J. 1911. *Estudios Jeolójicos i Mineralójicos del Desierto y Cordillera de Atacama.* Sociedad Nacional de Minería. Vol. II. Santiago de Chile.

Turner J. C. M. 1964. Descripción geológica de la Hoja 7 c, Nevado de Cachi (provincia de Salta). *Dir. Nac. Geol. y Minería*. Bol. 99. Buenos Aires.

Vila G. T. 1974. En: Chong Diaz G. 1984. *Die Salare in Nordchile – Geologie, Struktur und Geochemie*. Geotektonische Forschungen. Vol. 67. Stuttgart.

Walker S. L. 1921. En: Roulston, B. V. & D. C. E. Waugh. 1981. A borate mineral assemblage from the Penobsquis and Salt Springs evaporite deposits of southern New Brunswick. *Can. Mineral.* 19: 291-301.

Zaritskiy P. V. 1965. Boron mineralization in the Artemovka Formation in the Bakhmuta Depression of the Donents Basin. *Dokl. Acad. Sci.* (*Earth Sci. Sect.*) 149: 157-159.